

# MODEL PERKEMBANGAN GARIS PANTAI

Oleh : Ir. Nizam \*)

## Intisari

Model perkembangan garis pantai merupakan suatu model matematik untuk memperkirakan perubahan garis pantai karena erosi atau akresi oleh gelombang. Salah satu model tersebut adalah model yang didasarkan pada teori garis tunggal ('single line theory'), yaitu suatu penyederhanaan proses perkembangan garis pantai dengan menganggap bentuk profil pantai tidak berubah selama proses erosi/akresi tersebut. Dengan anggapan tersebut maka bentuk dan laju perubahan garis pantai karena erosi/akresi dapat diramalkan.

## Pendahuluan

Pantai sebagai tempat bertemunya lautan dengan daratan merupakan tempat penghancuran energi gelombang. Sebagai akibatnya garis pantai selalu berubah menyesuaikan keadaan gelombang untuk mencapai suatu kondisi keseimbangan dinamikanya. Berbagai model analitik maupun numerik telah dikembangkan untuk memperkirakan/meramalkan perubahan garis pantai terutama dalam kaitannya dengan pembuatan bangunan pantai seperti pemecah gelombang, groin, 'beach nourishment', dan sebagainya. (Komar, 1983).

Model-model numerik perubahan garis pantai pada umumnya didasarkan pada persamaan kontinuitas angkutan sedimen pantai, dan skematisasi perubahan garis pantai. Salah satu skematisasi perubahan garis pantai adalah skematisasi dengan garis lurus yang pertama kali dikemukakan oleh Pelnard-Considere (Bijker, 1978). Pada skematisasi garis lurus, perubahan garis pantai dianggap terjadi sejajar dengan lereng/landai pantainya. Dengan skematisasi tersebut penyelesaian numeriknya menjadi sederhana, dan hitungannya dapat dilakukan pada mikro komputer dengan program yang mudah. Dalam tulisan ini secara singkat dibahas modelisasi perkembangan garis pantai dengan teori garis tunggal dan penerapannya untuk perancangan bangunan pantai.

## Persamaan Dasar

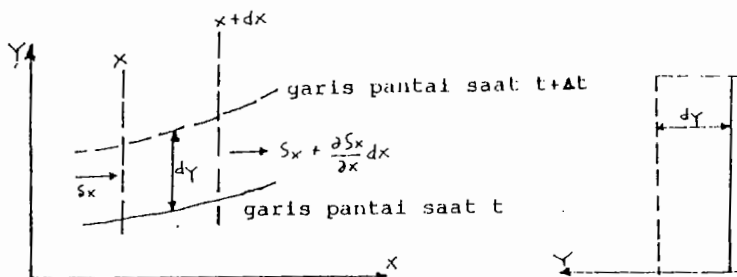
Untuk meramalkan perkembangan garis pantai diperlukan dua persamaan dasar, yaitu persamaan kontinuitas angkutan sedimen sepanjang pantai persamaan angkut-

an sedimen. Angkutan sedimen sepanjang pantai terutama disebabkan oleh gelombang dan arus. Proses tersebut terutama terjadi di zona-gelombang-pecah ('breaker zone'), karena pada daerah tersebut terjadi pemecahan energi gelombang yang menjalar ke pantai. Dengan meratakan kedalaman pantai dengan  $h$ , maka persamaan kontinuitas angkutan sedimen di sepanjang pantai adalah sebagai berikut ini (lihat gambar 1).

$$\frac{dS_x}{dx} + h \frac{dy}{dt} = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

dengan :

- $S_x$  = angkutan sedimen sepanjang pantai di  $X$  ( $m^3 / \text{det}$ ),
- $h$  = kedalaman pantai (m),
- $x$  = absis sesuai garis pantai (m),
- $y$  = ordinat tegak lurus garis pantai (m),
- $t$  = waktu (detik).



Gambar 1. Persamaan kontinuitas angkutan sedimen.

\*) Anggota Staf Pengajar Jur. Tek. Sipil FT-UGM.

Dalam bentuk diferensial-persamaan (1) dapat ditulis menjadi :

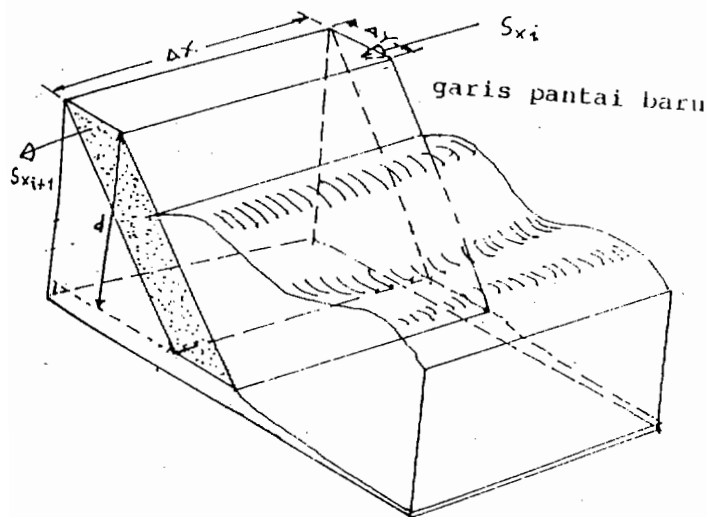
$$\frac{S_{xi+1} - S_{xi}}{\Delta x} + h \cdot \frac{y_{t+\Delta t} - y_t}{\Delta t} = 0,$$

atau :

$$y_{t+\Delta t} = y_t - \frac{S_{xi+1} - S_{xi}}{h} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t} \dots \dots \dots (2)$$

Persamaan (2) merupakan persamaan eksplisit yang dapat dipakai untuk menghitung  $y_{t+\Delta t}$  secara langsung bila diketahui perbedaan angkutan sedimen di  $i+1$  dan di  $i$  (lihat gambar 2).

Besarnya angkutan sedimen sepanjang pantai di zona-gelombang- pecah dapat dihitung dengan berbagai cara, misalnya metode Bijker, Bijker-Frijlink, Longuet-Higgins, CERC, dan sebagainya. (Massie, W.W., 1978). Cara hitungan angkutan sedimen sepanjang pantai yang cukup mudah dan sederhana yang akan digunakan dalam hitungan ini adalah metode fluks energi gelombang (Komar, 1983).



Gambar 2. Skematisasi perkembangan garis pantai.

Berdasar persamaan gelombang-amplitudo-kecil (teori gelombang Airy, (CERC, 1984) besarnya energi gelombang angin per satuan lebar puncak gelombang adalah :

$$E = 1/8 \rho \cdot g \cdot H^2 L,$$

dengan :

- $E$  = energi gelombang (watt),
- $\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ ),
- $g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/det}^2$ ),
- $H$  = tinggi gelombang (m),
- $L$  = panjang gelombang (m).

Bila didefinisikan kerapatan energi ('energy density') sebagai besarnya energi rata-rata per satuan luas permukaan air, maka didapat :

$$\bar{E} = 1/8 \rho \cdot g \cdot H^2$$

dengan  $\bar{E}$  = kerapatan energi (watt/m),

sehingga besarnya 'fluks energi' yang dibawa oleh gelombang yang merambat dengan cepat rambat  $nC$  per satuan lebar puncak gelombang adalah sebesar  $P$ , yang besarnya :

$$\bar{P} = \bar{E} nC$$

dengan :

$\bar{P}$  = 'fluks energi' gelombang ( $\text{Nm/det/m}$  lebar puncak),

$nC$  = cepat rambat 'group' gelombang ( $\text{m/det}$ ).

'Fluks energi'  $\bar{P}$  disebut juga sebagai 'daya-gelombang' (CERC, 1984). Bila gelombang merambat ke pantai dengan membentuk sudut  $\varphi$ , maka komponen 'fluks energi' sejajar garis pantai persatuan lebar pantai besarnya :

$$P' = \bar{E} nC \cos \varphi \cdot \sin \varphi$$

dengan :

$\varphi$  = sudut antara arah gelombang dengan garis pantai.

Berdasar beberapa penelitian (Watts (1953); Caldwell (1956); Komar (1969); lihat [CERC, 1984] ), besarnya angkutan sedimen sebanding dengan besarnya 'fluks energi' gelombang tersebut, sehingga dapat dituliskan sebagai :

$$I_x = K \cdot P' \dots \dots \dots (3)$$

dengan :

- $I_x$  = berat laju angkutan sedimen (N/det),
- $K$  = konstanta (tak berdimensi).

Dalam satuan debit angkutan sedimen didapat :

$$S_x = \frac{K}{(\rho_s - \rho) g \cdot a'} P'$$

dengan :

- $S_x$  = debit angkutan sedimen ( $m^3 / \text{det}$ ),
- $\rho_s$  = massa jenis bahan dasar ( $kg / m^3$ ),
- $\rho$  = massa jenis air laut ( $kg / m^3$ ),
- $a'$  = porositas (tak berdimensi).

Harga  $S_x$  biasanya dinyatakan dalam satuan waktu yang lebih panjang ( $m^3 / \text{hari}$  atau  $m^3 / \text{tahun}$ ). Nilai konstanta  $K$  berbeda dari satu peneliti ke peneliti lain. Menurut CERC, bila digunakan tinggi gelombang  $H_{rms}$  (akar rerata-kwadrat) nilai  $K$  adalah 0,77 [Komar, 1983], sedang bila digunakan tinggi gelombang signifikan, nilai  $K$  adalah 0,39 [CERC, 1984]. Untuk bahan dasar berupa pasir Komar (1983) memberikan suatu hubungan sebagai berikut :

$$S_x = 6,8 \cdot P' \quad \dots \dots \dots (4)$$

dengan :

- $S_x$  = debit angkutan sedimen ( $m^3 / \text{hari}$ ),
- $P'$  = 'fluks energi' gelombang (Nm/det/m atau Watt/m).

### Modelisasi

Dengan menggunakan persamaan (2) dan (4) tersebut di atas, dapat dilakukan modelisasi numerik untuk menghitung perkembangan pantai. Sebagai pendekatan dianggap arah gelombang di zona-gelombang-pecah diwakili oleh satu arah gelombang dominan yang membentuk sudut  $\varphi_i$  terhadap garis pantai di  $X_i$ . Garis pantai dibagi dalam pias-pias  $\Delta X$  dan pada setiap  $X_i$  dihitung besarnya angkutan sedimen  $S_{xi}$  selama selang waktu  $\Delta t$ . Dengan menggunakan persamaan (2) didapat perkembangan garis pantai selama selang waktu  $\Delta t$ . Akibat ber-

ubahnya garis pantai pada saat  $t + \Delta t$  tersebut maka gelombang akan membentuk sudut  $\varphi_i$  di  $t + \Delta t$ . Dengan mengabaikan pengaruh refraksi gelombang dan mengangap arah datang gelombang di zona-gelombang-pecah tetap maka besarnya  $\varphi_i$  di  $t + \Delta t$  dapat dihitung. Demikian seterusnya hitungan dikerjakan untuk  $\Delta t$  berikutnya hingga kala yang direncanakan tercapai.

### Program komputer

Untuk menghitung perubahan garis pantai karena dibuatnya suatu bangunan pantai disusun suatu program dalam bahasa PASCAL. Bagian utama program terdiri dari hitungan parameter gelombang di zona gelombang pecah, hitungan angkutan sedimen berdasar rumus CERC, dan persamaan perubahan garis pantai (lihat lampiran 1). Program disusun secara modular dengan maksud agar apabila akan dikembangkan dengan rumus angkutan sedimen yang lebih teliti (misal Bijker, Bijker-Frijlink, dsb.) tinggal mengganti bagian hitungan angkutan sedimen, demikian pula pengaruh refraksi dan difraksi dapat dimasukkan di dalam hitungan arah gelombang terhadap garis pantai.

### Contoh pemakaian

Untuk menunjukkan pemakaian model ini pada hitungan perubahan garis pantai karena dibuatnya suatu bangunan pantai, dicoba untuk menghitung perubahan garis pantai karena pembangunan pemecah gelombang di pelabuhan P. Baai-Bengkulu. Data keadaan garis pantai didapat dari peta pengukuran batimetri tahun 1983 dan 1985 (lihat [BAT FT UGM, 186]). Contoh ini dipilih karena arah datangnya gelombang di zona-gelombang-pecah diwakili oleh arah yang dominan, garis kedalaman pantainya relatif sejajar, sedimen pantainya berupa pasir dengan moda angkutan terutama oleh gelombang (pasang surut relatif rendah), serta data tinggi gelombang cukup tersedia. Hitungan tinggi gelombang representatif dan arah gelombang di zona-gelombang-pecah didapat dari (Nedeco, tanpa tahun).

Model dijalankan untuk periode tersebut (19 bulan) dengan membagi garis pantai dalam pias-pias  $\Delta x = 100 \text{ m}$ , dan langkah waktu  $\Delta t = 1 \text{ hari}$ . Hasilnya dapat dilihat pada gambar 3.

lengan :

- $I_x$  = berat laju angkutan sedimen (N/det),
- $K$  = konstanta (tak berdimensi).

Dalam satuan debit angkutan sedimen didapat :

$$S_x = \frac{K}{(\rho_s - \rho) g \cdot a'} P'$$

lengan :

- $S_x$  = debit angkutan sedimen ( $m^3 / \text{det}$ ),
- $\rho_s$  = massa jenis bahan dasar ( $kg / m^3$ ),
- $\rho$  = massa jenis air laut ( $kg / m^3$ ),
- $a'$  = porositas (tak berdimensi).

Jarga  $S_x$  biasanya dinyatakan dalam satuan waktu yang lebih panjang ( $m^3 / \text{hari}$  atau  $m^3 / \text{tahun}$ ). Nilai konstanta  $K$  berbeda dari satu peneliti ke peneliti lain. Menurut CERC, bila digunakan tinggi gelombang  $H_{rms}$  (akar erata-kwadrat) nilai  $K$  adalah 0,77 [Komar, 1983], sedang bila digunakan tinggi gelombang signifikan, nilai  $K$  adalah 0,39 [CERC, 1984]. Untuk bahan dasar berupa pasir Komar (1983) memberikan suatu hubungan sebagai berikut :

$$S_x = 6,8 \cdot P' \dots\dots\dots (4)$$

engan :

- $S_x$  = debit angkutan sedimen ( $m^3 / \text{hari}$ ),
- $P'$  = 'fluks energi' gelombang ( $Nm/\text{det}/m$  atau  $Watt/m$ ).

**Modelisasi**

Dengan menggunakan persamaan (2) dan (4) tersebut di atas, dapat dilakukan modelisasi numerik untuk menghitung perkembangan pantai. Sebagai pendekatan dianggap arah gelombang di zona-gelombang-pecah diwakili oleh satu arah gelombang dominan yang membentuk sudut  $\varphi_i$  terhadap garis pantai di  $X_i$ . Garis pantai dibagi dalam pias-pias  $\Delta X$  dan pada setiap  $X_i$  dihitung besarnya angkutan sedimen  $S_{xi}$  selama selang waktu  $\Delta t$ . Dengan menggunakan persamaan (2) didapat perkembangan garis pantai selama selang waktu  $\Delta t$ . Akibat ber-

ubahnya garis pantai pada saat  $t + \Delta t$  tersebut maka gelombang akan membentuk sudut  $\varphi_{i t + \Delta t}$ . Dengan mengabaikan pengaruh refraksi gelombang dan mengangap arah datang gelombang di zona-gelombang-pecah tetap maka besarnya  $\varphi_{i t + \Delta t}$  dapat dihitung. Demikian seterusnya hitungan dikerjakan untuk  $\Delta t$  berikutnya hingga kala yang direncanakan tercapai.

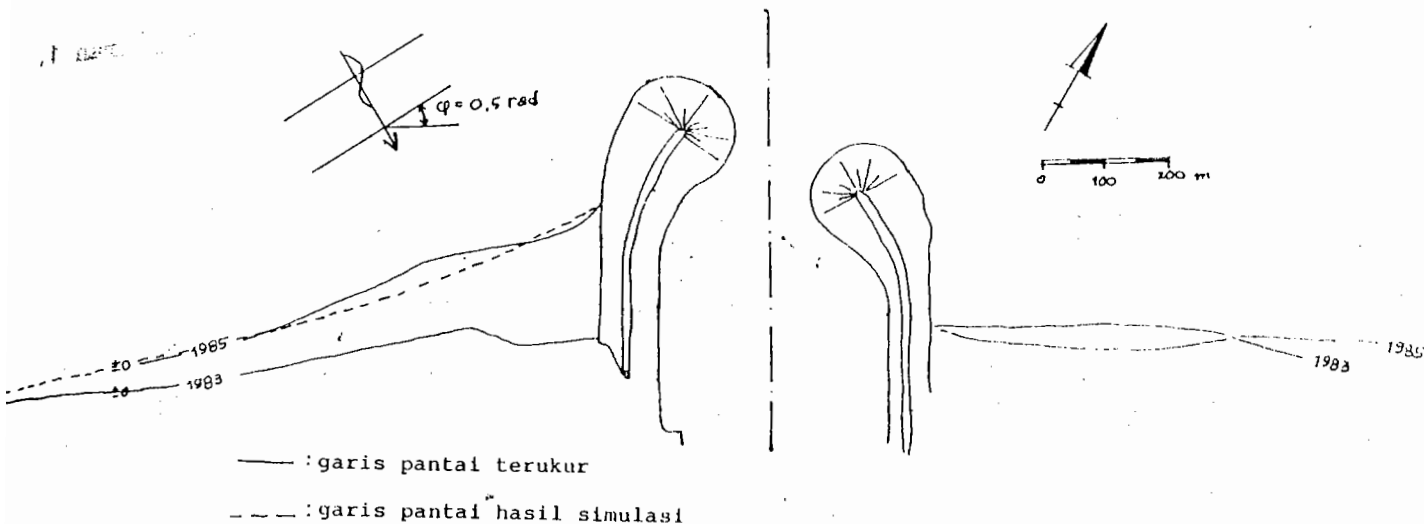
**Program komputer**

Untuk menghitung perubahan garis pantai karena dibuatnya suatu bangunan pantai disusun suatu program dalam bahasa PASCAL. Bagian utama program terdiri dari hitungan parameter gelombang di zona gelombang pecah, hitungan angkutan sedimen berdasar rumus CERC, dan persamaan perubahan garis pantai (lihat lampiran 1). Program disusun secara modular dengan maksud agar apabila akan dikembangkan dengan rumus angkutan sedimen yang lebih teliti (misal Bijker, Bijker-Frijlink, dsb.) tinggal mengganti bagian hitungan angkutan sedimen, demikian pula pengaruh refraksi dan difraksi dapat dimasukkan di dalam hitungan arah gelombang terhadap garis pantai.

**Contoh pemakaian**

Untuk menunjukkan pemakaian model ini pada hitungan perubahan garis pantai karena dibuatnya suatu bangunan pantai, dicoba untuk menghitung perubahan garis pantai karena pembangunan pemecah gelombang di pelabuhan P. Baai-Bengkulu. Data keadaan garis pantai didapat dari peta pengukuran batimetri tahun 1983 dan 1985 (lihat [BAT FT UGM, 186]). Contoh ini dipilih karena arah datangnya gelombang di zona-gelombang-pecah diwakili oleh arah yang dominan, garis kedalaman pantainya relatif sejajar, sedimen pantainya berupa pasir dengan moda angkutan terutama oleh gelombang (pasang surut relatif rendah), serta data tinggi gelombang cukup tersedia. Hitungan tinggi gelombang representatif dan arah gelombang di zona-gelombang-pecah didapat dari (Nedeco, tanpa tahun).

Model dijalankan untuk periode tersebut (19 bulan) dengan membagi garis pantai dalam pias-pias  $\Delta x = 100 m$ , dan langkah waktu  $\Delta t = 1 \text{ hari}$ . Hasilnya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil hitungan dan hasil pengukuran.

### Kesimpulan dan saran

Dengan skematisasi sederhana tersebut didapat hasil yang cukup memadai. Karena skema hitungannya eksplisit maka untuk menghindari ketidakstabilan hitungan, langkah waktu  $\Delta t$  harus disesuaikan dengan panjang pias  $\Delta x$ . Model ini dapat juga dipakai untuk menghitung keadaan bangunan pantai yang lain dengan mengubah kondisi batasnya. Untuk meningkatkan kemampuan model, dapat dimasukkan hitungan refraksi dan difraksi gelombang, serta rumus angkutan sedimen yang lebih teliti, yang memasukkan pengaruh arus dan gelombang.

### Ucapan terima kasih

Atas tersusunnya tulisan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Dr. Ir. Sri Harto Br.Dip.H. yang telah memberikan saran-saran dan petunjuk dalam penulisan naskah ini.

### Daftar pustaka

- BAT FT UGM, 1986, Laporan Akhir Penelitian Model Hidraulik Pelabuhan Pulau Baai-Bengkulu, LTP-DJPL, Yogyakarta.
- CERC, 1984, Shore Protection Manual, U.S. Army CERC, Washington.
- Bijker, E.W., 1978, Coastal Changes with Single Line Theory, dalam W.W. Massie (ed.), Lecture Notes on Coastal Engineering, Delft University of Technology, Delft.
- Komar, P.D., (ed.), 1983, CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion, CRC Press Inc., Florida.
- Massie, W.W., (ed.), 1978, Lecture Notes on Coastal Engineering, Delft University of Technology, Delft.
- Nedeco, tanpa tahun, Bengkulu Pulau Baai harbour project, Hydraulic engineering aspect, Annex B2-7/b, C2-1/a, Nedeco, Jakarta.

```

type shorel.pas
PROGRAM shorel;
Const max = 200;
Type ary = array[0..max] of real;
Var y,dely,q : ary;
    dir,i,j,k,masa,np : integer;
    distorsi : char;
    time,delt,P,d,delx,tano,ymaks : real;

Procedure garis;
Begin textcolor(lightblue);for i:=1 to 80 do write('_');
writeln;textcolor(yellow) End;

Procedure count(k:integer);
Begin gotoXY(72,7);textbackground(lightcyan);write(k:6);
textbackground(black);End;

Procedure transport(y :ary;var q : ary);
var tani,tanb,A,sinb,cosb : real;
Begin (* hitungan arah dan angkutan sedimen *)
    for i:= 1 to np do
        Begin
            dir := 1;
            tani:=(y[i]-y[i+1])/delx;
            tanb:=(tani+tano)/(1-tani*tano);
            if (tano+tani)<0 then dir := -1;
            A:=sqr(tanb);
            sinb:=sqrt(A/(A+1));
            cosb:=sqrt(1-sqr(sinb));
            q[i]:=dir*6.8*P*sinb*cosb;
        End
    End;

End;

Procedure develop (q :ary ;var y :ary);
var dely : ary;
Begin (* hitungan perkembangan garis pantai *)
    q[0]:=q[1];q[np]:=0.00; (* keadaan batas *)
    for i:= 1 to np do
        Begin
            dely[i]:=(q[i-1]-q[i])*delt/(delx*d);
            y[i]:=y[i]+dely[i];
        End
    End;

End;

```

```

procedure gambar(x,y,z,w:real);
var scalex,scaley : real;
    a,b,c,e :integer;
Begin
    scalex := 600/(delx*np);
    if upcase(distorsi)='B' then scaley:=scalex
    else scaley:= 200/(ymaks);
    a:=round(x*scalex); b:=round(50+y*scaley);
    c:=round(z*scalex); e:=round(50+w*scaley);
    draw(a,b,c,e,1);          plot(c,e,0);
    gotoxy(1,18);
    writeln('skala x : skala y = ',
    round(1/scalex):3, ' : ',round(1/scaley):3);
End;

Begin (* program utama *)
    clrscr;garis;
    gotoxy(30,3); write('MODEL GARIS PANTAI');
    gotoxy(30,4); writeln('Oleh:Nizam, 9/9/86');
    (* pemasukan data *) garis;
    write('lama proses (hari) : ');readln(masa);
    write('jumlah pias : ');      readln(np);
    write('delta t : ');          readln(delt);
    masa := round(masa/delt);
    write('delta x : ');          readln(delx);
    writeln('Masukkan ordinat garis pantai : ');
    for i:=0 to np do
    Begin gotoxy(41,11);clreol;write(i:6,' : ');
    read(y[i]);End;              writeln;
    for i:= 0 to np do write(y[i]:8:2); writeln;
    write('kedalaman pantai = '); readln(d);
    write('P = ');               readln(P);
    write('tano = ');            readln(tano);
    garis;
    time := 0;
    for k := 1 to masa do
    Begin
        count(k);
        time := time + delt;
        transport(y,q);          (* hitung angkutan sedimen *)
        develop(q,y)             (* hitung perubahan grs.pantai *)
    End;
    writeln; gotoxy(1,19);
    write('Setelah : ',round(masa*delt):6,' hari,');
    writeln(' garis pantai baru : ');      garis;
    writeln(' X (m)      Y (m)');         garis;

```

```

for i:= 0 to np do writeln(i*delx:9:2,y[i]:10:4);garis;
write('Gambar skala B [iasa] / D [istorsi] ? ');
readln(distorsi);
clrscr; Hires; ymaks := 0.1;
for i:= 0 to np do if ymaks<abs(y[i]) then ymaks:=abs(y[i]);
ymaks:= ymaks*2;
for i:= 0 to np-1 do gambar(i*delx,y[i],(i+1)*delx,y[i+1]);
gotoxy(1,20); garis; gotoxy(35,22); write('PROFIL BARU');
gotoxy(73,24); textcolor(11); write('@ Nizam');
End.
B>shorel

```



shorel

MODEL GARIS PANTAI  
Oleh: Nizam, 9/9/86

waktu proses (hari) : 570

10

jumlah pias : 20

delta t : 1

delta x : 100

masukkan ordinat garis pantai : 20 : 62

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	28.00	46.00	64.00	82.00	52.00
62.00									

kedalaman pantai = 15

$\rho = 766$

$\sigma = .5463$

Setelah : 570 hari, garis pantai baru :

X (m)      Y (m)

0.00	0.0000
100.00	0.0000
200.00	0.1855
300.00	0.4366
400.00	0.8319
500.00	1.4766
600.00	2.5153
700.00	4.1445
800.00	6.6226
900.00	10.2762
1000.00	15.4991
1100.00	22.7438
1200.00	32.5057
1300.00	45.3019
1400.00	61.6523
1500.00	82.0649
1600.00	107.0296
1700.00	137.0186
1800.00	172.4919
1900.00	213.9030
2000.00	261.7023

gambar skala B [iasa] / D [istorsi] ?